

PENGUNAAN NINZA SEBAGAI KATALIS PADA PROSES HIDRODEOKSIGENASI PIROLISIS KULIT PINUS (*Pinus merkussi*) MENJADI *BIO-OIL*

Anna Apryana¹, Syaiful Bahri², Zuchra Helwani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia ²Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293
annaapryana@gmail.com

Dependence on fossil fuels as an energy source brings us to the energy crisis. Therefore, it is necessary to reduce human dependence on non-renewable energy. One of them is to produce bio-oil from biomass are processed through hydrodeoxygenation pyrolysis technology. One type of biomass that can be used as raw material, namely energy sources pine bark which is a waste of the pine trees. This research aims to produce bio-oil from the bark of pine (pine merkussi) as an alternative fuel, studied the effect of the weight ratio of the catalyst Ni / NZA against biomass, studied the effect of impregnated metal Nickel (Ni) in Natural Zeolite deAluminated (NZA) and characterization of physical properties and the chemistry of the bio-oil is produced. Hydrodeoxygenation pyrolysis process is carried out at a temperature of 320 °C, silinap 500 ml, biomass 50 grams with a size of -100 + 200 mesh sieve, catalyst variation Ni / NZA of the biomass of 4%; 6% and 8% by weight and Ni metal impregnation variation of the Natural Zeolite deAluminated (NZA) of 0%; 1%; 2% and 3%. Results of this study produce bio-oil yields the largest on the use of the catalyst Ni / NZA 8% by weight of the metal content of 3% by 70.99%. Characterization of physical properties of bio-oil obtained in the form of density of 0.980 g / ml, 1,590 cSt viscosity, acidity 32.444 mg NaOH / gram sample, a flash point of 40 °C and calorific value of 44.509 MJ / kg. While the characterization of the chemical properties of bio-oil using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GCMS) in the can several dominant chemical components such as acetic acid as much as 34.47%, 3-furaldehyde as much as 13.01%, 2-propanone as much as 12.46%, a 1.2-Ethanediol as much as 9:49% and 2-butanone as much as 6.26%.

Keywords: Bio-Oil, Catalyst Ni/NZA, Hydrodeoxygenation Pyrolysis , Pine Bark

1. Pendahuluan

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sebagai sumber energi membawa kita pada krisis energi dikarenakan sumber energi fosil memerlukan waktu yang lama untuk diperbaharui. Khususnya untuk Indonesia, penggunaan energi masih dominan pada bahan bakar fosil. Produksi BBM Indonesia pada tahun 2013 sebesar 882 ribu barel perhari, sedangkan konsumsi BBM mencapai 1623 ribu barel perhari [BP Statistical Review of World Energy, 2014]. Ketidakseimbangan antara jumlah produksi dan konsumsi inilah nantinya

dapat menyebabkan krisis energi. Oleh karena itu, diperlukan adanya usaha untuk mengurangi ketergantungan manusia terhadap energi tidak terbarukan tersebut. Salah satunya ialah dengan memproduksi *bio-oil* dari biomassa yang diproses melalui teknologi pirolisis. Biomassa adalah material biologis yang berasal dari suatu kehidupan yang berstruktur karbon dan campuran kimiawi bahan-bahan organik yang mengandung hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil atom-atom dan elemen-elemen lainnya [Contained Energy Indonesia, 2011].

Beberapa jenis biomassa diantaranya adalah tanaman, pepohonan dan kotoran ternak. Tanaman pinus salah satu biomassa yang banyak kegunaan. Tanaman pinus merupakan tanaman endemik Indonesia yang tersebar di Jawa, Sumatera, dan Sulawesi [Gerad 2007]. Pinus merupakan tanaman serbaguna yang dikembangkan untuk penghasil kayu, produksi getah dan konservasi alam. Limbah yang dihasilkan berupa kulit pinus yang selama ini hanya dibakar dan dijadikan campuran pupuk. Hal tersebut belum optimal karena kulit pinus dapat diolah menjadi produk *bio-oil* sebagai sumber energi alternatif.

Salah satu teknologi pengolahan sampah menjadi energi (*waste to energy*) diantaranya pirolisis, gasifikasi dan karbonisasi. Proses yang digunakan dalam memproduksi sumber energi alternatif berupa *bio-oil* adalah hidredeoksigenasi pirolisis. Hidredeoksigenasi pirolisis merupakan proses termokimia dari dekomposisi termal biomassa menjadi molekul molekul yang lebih kecil berupa padat, cair ataupun gas dengan menggunakan hidrogen dan nitrogen sebagai inert.

Untuk mempercepat terjadinya reaksi pada proses pirolisis, maka diperlukan adanya katalis. Sebagai pengemban dipilih zeolit alam yang keberadaannya di Indonesia cukup melimpah diperkirakan mencapai 13 juta ton diantaranya tersebar di beberapa daerah pulau Sumatera dan Jawa. Karakteristik zeolit yang unik antara lain sangat stabil dengan kemampuan adsorpsi yang sangat tinggi dan selektif serta mempunyai struktur pori (mikroporus) aktif yang banyak sehingga memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi, hal itu menyebabkan zeolit sangat berpotensi untuk diproses lebih lanjut menjadi produk-produk yang luas aplikasinya antara lain sebagai katalis/*supporting* katalis, adsorben, membran yang mempunyai ekonomi tinggi dan lain-lain [Mustain, 1997].

Zeolit alam banyak bercampur dengan materi pengotor (*impurities*) selain zeolit. Oleh karena itu, zeolit alam perlu diaktivasi dan dimodifikasi guna meningkatkan karakternya terutama aktivitas katalitiknya [Trisunaryanti, dkk., 2005]. Salah satu bentuk modifikasi yang dapat dilakukan yaitu membuat katalis logam pengemban. Jenis loga yang digunakan adalah nikel, nikel merupakan logam transisi yang berfungsi sebagai promotor untuk memperbaiki kinerja katalis (aktivitas, stabilitas dan selektivitas [Misdian, 2009].

Pada penelitian ini akan dilakukan pirolisis kulit pinus (*Pinus merkussi*) menjadi *bio-oil* menggunakan katalis Ni/NZA. Kadar logam yang diembankan yaitu 0%; 1%; 2% dan 3% terhadap NZA, sedangkan berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa 4%; 6% dan 8%.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini biomassa yang digunakan sebanyak 50 gram, ukuran ayakan biomassa dan zeolit -100+200 *mesh*, temperatur pirolisis 320 °C, waktu pirolisis 2 jam, kecepatan pengadukan 300 rpm, silinap 280 M sebanyak 500 ml. Variasi persentase berat logam Ni terhadap katalis NZA adalah 0%; 1%; 2% dan 3% terhadap NZA, sedangkan berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa 4%; 6% dan 8%.

Tahap pertama zeolit alam digerus dalam lumpang porselein untuk memperkecil ukuran partikel, kemudian diayak dengan ukuran -100+200 *mesh* dengan ketentuan ukuran partikel yang diambil merupakan partikel-partikel yang lolos pada pengayak 100 *mesh*. dan tertahan pada ayakan 200 *mesh*. Selanjutnya dilakukan proses dealuminasi zeolit alam dengan larutan HCl 6 N dan NH₄Cl 1 N. 200 gram zeolit alam direfluks dalam 500 ml larutan HCl 6 N selama 30 menit pada suhu 50 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar, kemudian disaring dan dicuci sampai tidak ada ion Cl⁻ yang terdeteksi oleh larutan AgNO₃, setelah itu

cake dikeringkan pada suhu 110 °C selama 3 jam. Sampel tersebut kemudian direndam kembali dalam 500 ml larutan NH₄Cl 1 N pada temperatur 90 °C sambil diaduk pada reaktor alas datar selama 3 jam sehari selama satu minggu. Sampel tersebut kemudian disaring dan dicuci setelah itu dikeringkan selama 24 jam pada suhu 110 °C.

Tahap berikutnya dilakukan pengembanan (impregnasi) logam Ni sebesar 0%; 1, %; 2% dan 3% dari berat NZA seperti yang terlihat pada Gambar 3.4. Proses impregnasi ini mengikuti prosedur yang telah dilakukan oleh Saputra dkk [2011] dimulai dengan melarutkan sampel NZA ke dalam 100 ml Ni(NO₃)₂.6H₂O dan dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 80°C sampai air menguap, kemudian dipanaskan dalam *oven* selama 6 jam pada suhu 120°C (diperoleh sampel Ni/NZA) untuk menghilangkan air. Pada tahap ini didapat katalis Ni/NZA sesuai dengan persentase berat logam.

Selanjutnya katalis Ni/NZA diaktivasi dengan melakukan proses-proses kalsinasi, oksidasi, dan reduksi. Sampel katalis dimasukkan ke dalam *tube* sebanyak 40 gram. *Tube* di isi dengan *porcelain beads* sebagai *heat carrier* dan penyeimbang unggun katalis, diantara *porcelain beads* dengan unggun katalis diselipkan *glass woll*. *Tube* ditempatkan dalam *tube furnace* secara vertikal, dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 6 jam sambil dialirkan gas nitrogen sebesar 400 ml/menit. Selanjutnya katalis dioksidasi pada suhu 400 °C menggunakan gas oksigen sebesar 400 ml/menit selama 2 jam dan reduksi pada suhu 400 °C menggunakan gas hidrogen sebesar 400 ml/menit selama 2 jam.

Biomassa berupa kulit pinus dicacah lalu dijemur sampai kering di bawah terik matahari, kemudian dihaluskan menggunakan *blender* untuk selanjutnya dikeringkan kembali di bawah terik

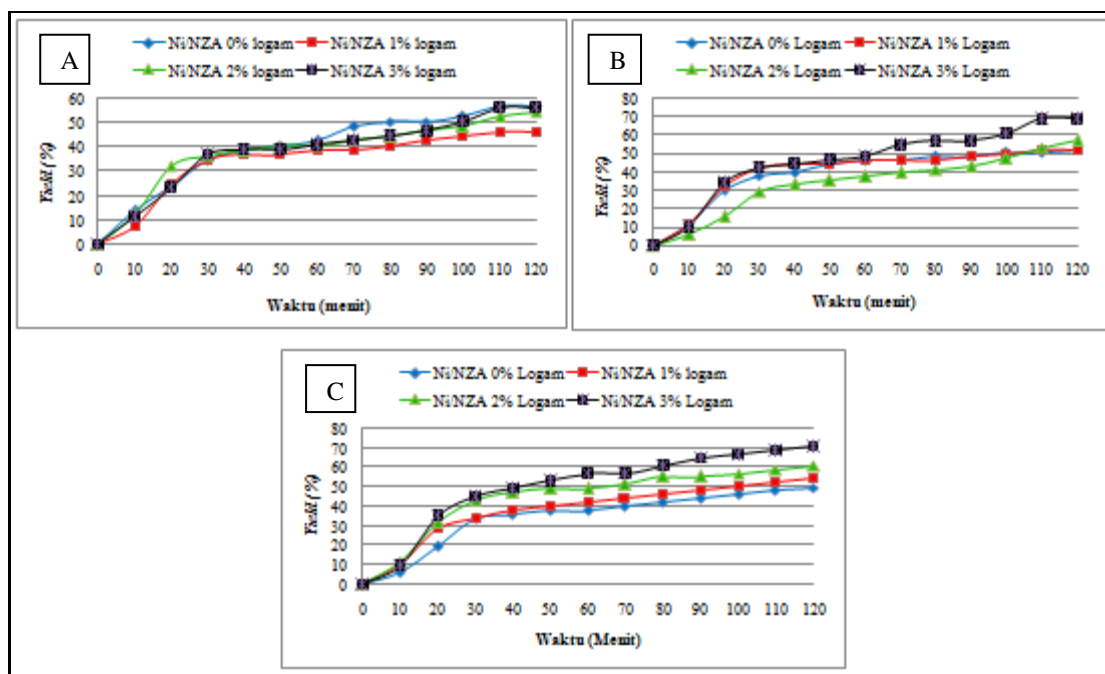
matahari. Biomassa tersebut kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang lolos ayakan -100+200 *mesh*. Selanjutnya biomassa berupa Kulit pinus yang telah dihaluskan sebanyak 50 gram beserta 500 ml *thermo-oil* (silinap) dan katalis Ni/NZA dimasukkan kedalam reaktor pirolisis. Pirolisis dilakukan pada suhu 320 °C tanpa kehadiran oksigen dengan mengalirkan gas nitrogen dengan laju alir 80 ml/menit hingga suhu 200°C lalu nitrogen dihentikan selanjutnya reaktor di aliri hidrogen dengan laju alir 80 ml/menit. Diaduk dengan pengaduk listrik pada kecepatan pengadukan 300 rpm selama 2 jam. Uap organik yang terbentuk akan di kondensasi menggunakan kondensor sehingga dihasilkan *bio-oil*, selanjutnya produk *bio-oil* tersebut ditampung dalam gelas ukur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Variasi Kadar Logam Nikel (Ni) Pada Katalis Ni/NZA Terhadap *Yield Bio-oil*

Proses pengembanan logam Nikel (Ni) terhadap *Natural Zeolite deAluminated* (NZA) yang bervariasi akan mempengaruhi *yield bio-oil* yang di dapat dari proses hidrodeoksigenasi pirolisis kulit pinus (*Pinus merkussi*). Sistem katalis logam pengembanan merupakan suatu sistem katalis yang dibuat dengan cara menempatkan komponen aktif logam ke dalam suatu bahan pengembanan berpori. Penempelan logam dalam pengembanan bertujuan untuk memperluas permukaan aktif (situs aktif).

Proses pirolisis ini dilakukan pada suhu 320 °C dan pengambilan *bio-oil* dilakukan pada rentang waktu 10 menit selama 2 jam. Proses pirolisis dilakukan dengan variasi kadar logam Nikel (Ni) 0%; 1%; 2% dan 3% pada katalis Ni/NZA. Selain itu berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa yang digunakan juga di variasikan sebesar 4%; 6% dan 8% berat. Perolehan *yield bio-oil* dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Pengaruh Waktu Pirolisis terhadap *Yield Bio-oil* pada Variasi Logam Nikel (Ni) dan Penggunaan Katalis Ni/NZA Berat Biomassa (A)4%, (B)6% dan (C)8%.

Terlihat pada Gambar 3.2 dapat disimpulkan bahwa dimungkinkan karena adanya logam Ni yang diembankan pada NZA dapat meningkatkan luas permukaan dari NZA yang bertindak sebagai penyangga atau *support* sehingga Ni/NZA yang berperan sebagai katalis dapat meningkatkan *yield bio-oil*. Hal ini didukung oleh Setiadi dan Pertiwi [2007] yang menyatakan sistem katalis logam pengemban dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari NZA sehingga aktivitas dari katalis juga semakin meningkat. Logam sebagai fasa aktif berperan untuk mempercepat dan mengarahkan reaksi. Sedangkan penyangga atau *support* berfungsi untuk memberikan luas permukaan yang lebih besar bagi fasa aktif, meningkatkan stabilitas termal dan efektivitas katalis. Semakin tinggi kadar Ni yang diembankan ke dalam *support* NZA, maka luas permukaan katalis semakin meningkat dan *yield bio-oil* yang diperoleh juga akan meningkat.

Adanya pengembanan logam pada NZA pada sistem katalis logam berpengemban dapat meningkatkan sifat

asam katalis, hasil keasaman katalis NZA dan Ni/NZA secara berturut-turut yaitu 0,07 mol/gr dan 0,08 mol/gr. Sifat asam katalis akan berpengaruh baik pada proses katalisis yang nantinya akan menyebabkan perolehan *bio-oil* yang dihasilkan semakin meningkat pula. Ginting dkk, [2007] menyampaikan bahwa adanya logam juga dapat meningkatkan asam katalis, dimana asam katalis yang tinggi dapat memberikan medium yang kondusif untuk proses katalitik. Oleh sebab itu, semakin besar kadar logam yang digunakan maka asam katalis akan semakin meningkat, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin meningkat.

3.2 Pengaruh Variasi Berat Katalis Ni/NZA Terhadap *Yield Bio-oil*

Untuk mengetahui pengaruh berat katalis Ni/NZA terhadap *yield bio-oil* telah dilakukan proses hidrodeoksigenasi pirolisis terhadap kulit pinus (*Pinus merkussi*) dengan variasi berat katalis Ni/NZA terhadap biomassa yaitu 4%; 6% dan 8%. Dimana pada masing-masing variasi berat katalis tersebut juga divariasikan kadar logam Nikel (Ni) yaitu

0%; 1%; 2% dan 3%. Pengaruh berat katalis Ni/NZA terhadap *yield bio-oil* terlihat pada Gambar 3.1 diatas. Besar *yield* pada 3% logam pengemban pada 4%, 6% dan 8% berat katalis Ni/NZA berturut adalah 56,55%, 69,088% dan 70,99%

Dapat disimpulkan bahwa hubungan antara jumlah katalis yang digunakan dan *yield bio-oil* yang dihasilkan. Diketahui bahwa jumlah katalis akan mempengaruhi *yield bio-oil* yang dihasilkan. Persentase *yield bio-oil* tertinggi diperoleh pada penggunaan katalis 8% terhadap biomassa. Dari diagram dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan *yield bio-oil* seiring dengan bertambahnya jumlah katalis. Semakin besar jumlah katalis yang digunakan, maka *yield bio-oil* yang dihasilkan semakin besar pula. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa dengan adanya penambahan jumlah katalis akan menyebabkan energi aktivasi menjadi semakin kecil dan kecepatan reaksi semakin besar, sehingga *yield bio-oil* yang dihasilkan juga semakin besar. Selain itu, menurut Lestari [2010], bahwa dengan bertambahnya persentase berat katalis terhadap biomassa dengan ukuran biomassa yang sama, maka jumlah pori pada katalis semakin meningkatkan dan luas permukaannya juga semakin besar, sehingga situs-situs aktif pada katalis yang dapat dimanfaatkan selama proses perengkahan semakin banyak dan dapat meningkatkan *yield bio-oil* yang dihasilkan.

3.3 Karakterisasi Bio-oil

3.3.1 Analisa Fisika Bio-oil

Karakterisasi sifat fisika yang dilakukan meliputi penentuan densitas, viskositas, titik nyala, angka asam dan nilai kalor. Densitas *bio-oil* yang dihasilkan berada pada *range* 0,969-1,018 gram/ml. Densitas terbesar dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 6% berat dengan kadar logam 1% yaitu sebesar 1,017 gram/ml. Sedangkan densitas terendah dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar

logam 3% yaitu 0,969 gram/ml. Mohan dkk, [2006] juga menjelaskan bahwa densitas *bio-oil* berada pada *range* 0,94 – 1,21 gram/ml. Densitas merupakan perbandingan berat persatuan volume *bio-oil*. Densitas yang terlalu dapat menyebabkan reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga dapat meningkatkan emisi dan keausan pada mesin, selain itu densitas yang tinggi juga dapat mengakibatkan *bio-oil* memiliki berat yang lebih besar dibandingkan *fuel oil* dengan volume yang sama. Hal ini dapat menyebabkan bertambahnya biaya transportasi untuk pendistribusinya [Mohan dkk, 2006].

Pada penelitian ini viskositas tertinggi adalah pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 1% sebesar 1,876 cSt dan viskositas terendah pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 2% sebesar 1,474 cSt. Viskositas *bio-oil* biasanya berada pada *range* 15-35 cSt [Smallwood, 2008]. Viskositas yang di peroleh secara umum lebih rendah dibandingkan dengan standar yang dikemukakan oleh Smallwood. Hal ini menandakan bahwa *bio-oil* dari kulit pinus (*Pinus merkussi*) lebih mudah untuk mengalir. Viskositas yang tinggi menyebabkan *bio-oil* sulit untuk mengalir dengan baik dan menyebabkan *pressure drop* yang relatif tinggi pada proses perpipaan saat pendistribusian [Mohan dkk, 2006]. Hal ini tentunya akan menyebabkan biaya yang lebih besar untuk instalasi perpipaan guna pendistribusian *bio-oil*.

Titik nyala dari *bio-oil* yang dihasilkan dari kulit pinus (*Pinus merkussi*) berada pada *range* 40-52°C. Dengan titik nyala yang relatif rendah tersebut maka *bio-oil* akan semakin mudah untuk terbakar dan penyimpanannya harus sangat diperhatikan. Mohan dkk, [2006] menjelaskan bahwa titik nyala *bio-oil* yang terlalu rendah akan mempersulit dalam penanganan dan biasanya titik nyala *bio-oil* pada umumnya adalah 45-100°C.

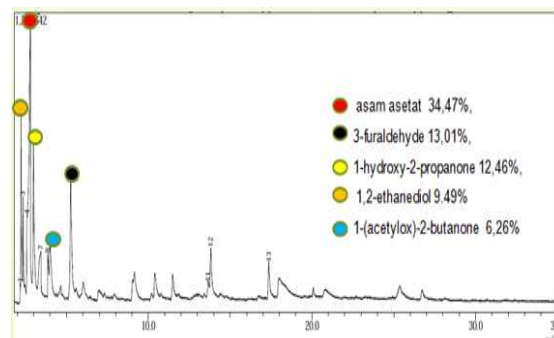
Kandungan asam yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bio-oil* bersifat korosif terhadap bahan-bahan yang digunakan untuk penyimpanan atau pun pendistribusiannya, terutama bahan yang berasal dari *carbon steel*. Oleh karena itu makin rendah angka asam *bio-oil* maka menandakan kandungan senyawa asam di dalam *bio-oil* itu semakin rendah pula, angka asam yang semakin rendah menandakan kualitas *bio-oil* semakin baik. Pada penelitian ini angka asam tertinggi di dapat pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 1% sebesar 35,753 mg NaOH/gram sampel. Sedangkan angka asam terendah di dapat pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 2% sebesar 29,985 mg NaOH/gram sampel. Mohan dkk, [2006] menjelaskan bahwa angka asam *bio-oil* biasanya sekitar 47,7 mg NaOH/gram sampel. Penentuan nilai kalor hanya dilakukan pada penggunaan katalis Ni/NZA 8% berat dengan kadar logam 3% yaitu sebesar 44,509 MJ/kg. Penurunan angka asam dan peningkatan nilai kalor menunjukan efek positif dari hidrodeoksigenasi (HDO). HDO dilakukan untuk mengurangi kereaktifan senyawa oksigenat dan menstabilkan minyak [Elliot, 2007].

3.3.2 Analisa Kimia *Bio-oil*

Analisa kimia *bio-oil* pada penelitian ini menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS). *Bio-oil* yang di analisa adalah variasi dengan *yield bio-oil* tertinggi, dalam hal ini penggunaan katalis Ni/NZA dengan kadar logam 3% adalah yang menghasilkan *yield* tertinggi dibandingkan dengan variasi lainnya, baik pada penggunaan 4% berat, 6% berat dan 8% berat. Untuk itu dilakukan analisa kimia menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung pada *bio-oil*.

Senyawa hasil dekomposisi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terkandung di dalam *bio-oil* pada penggunaan katalis

katalis Ni/NZA 8% berat dengan kadar logam 3%. Hanya terdapat 13 senyawa yang terkandung di dalam *bio-oil* pada penggunaan katalis Ni/NZA 8% berat dengan kadar logam 3% dengan 5 senyawa dominannya adalah asam asetat sebanyak 34,47%, 3-furaldehyde sebanyak 13,01%, 1-hydroxy-2-propanone sebanyak 12,46%, 1,2-ethanediol sebanyak 9,49% dan 1-(acetyloxy)-2-butanone sebanyak 6,26%.



Gambar 3.2 Kromatogram *Bio-oil* Menggunakan Katalis Ni/NZA 8% Berat dengan Kadar Logam 3%

Dilihat dari senyawa *bio-oil* yang dihasilkan bersifat asam, hal ini dikarenakan selama proses senyawa-senyawa yang terkandung di dalam selulosa dan hemiselulosa lebih banyak banyak. Dimana, hemiselulosa terdekomposisi pada suhu 240-350 °C, dan selulosa terdekomposisi pada suhu 160-260 °C [Mohan dkk, 2006].

BTG [2003] mengungkapkan bahwa *bio-oil* dengan kandungan fenol lebih dari 50% maka akan sangat baik jika digunakan sebagai bahan bakar. Namun pada penelitian ini, secara keseluruhan senyawa fenol tidak ditemukan baik pada *bio-oil* yang dihasilkan dari proses pirolisis menggunakan katalis tanpa logam maupun katalis dengan logam. Hal ini dikarenakan suhu pirolisis yang digunakan adalah 320 °C dan sebagian besar lignin di dalam biomassa kulit pinus (*Pinus merkussi*) belum terdekomposisi. De wild [2011] telah menjelaskan bahwa pembentukan senyawa fenol merupakan hasil dekomposisi lignin di dalam biomassa pada rentang suhu 400-500 °C.

4. Kesimpulan

Kulit pinus (*Pinus merkussi*) dapat dijadikan *bio-oil* dengan teknologi hidrodeoksigenasi pirolisis dengan menggunakan katalis Ni/NZA yang bisa digunakan sebagai energi alternatif.

Semakin banyak katalis Ni/NZA yang digunakan dalam proses pirolisis akan menghasilkan *yield bio-oil* yang semakin tinggi. *Yield bio-oil* tertinggi dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 8% berat dengan kadar logam 3% sebesar 70,99%. Sedangkan *yield bio-oil* terendah dihasilkan pada penggunaan katalis Ni/NZA 4% berat dengan kadar logam 1% sebesar 46,51%.

Dealuminasi dan impregnasi logam Nikel (Ni) yang dilakukan pada zeolit alam meningkatkan keasaman katalis dan memperbanyak situs aktif dari NZA. Semakin tinggi kadar logam Nikel (Ni) yang di impregnasikan pada zeolit alam maka akan menghasilkan *yield bio-oil* yang semakin tinggi.

Karakteristik fisika rata-rata *bio-oil* yang dihasilkan pada penelitian ini adalah densitas 0,980 gram/ml, viskositas 1,590 cSt, angka asam 32,444 mg NaOH/gram sampel, titik nyala 40 °C dan nilai kalor 44,509 MJ/kg.

Senyawa dominan yang terkandung di dalam *bio-oil* pada penggunaan katalis Ni/NZA 8% berat dengan kadar logam 3% adalah asam asetat, 3-furaldehyde, 2-propanone, 1,2-ethanediol dan 2-butanone.

Daftar Pustaka

- Bahri, S., Yuri, S.I., Panca, S.U. dan Muhdarina. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Katalis Bimetal Ni-Mo-zeolit untuk Proses Pencairan Langsung Biomasa menjadi Bio-oil*. Makalah Ilmiah. Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru, 29-30 Juni.
- Boundy, B., S.W. Diegel, L. Wright., Davis, S.C. 2011. *Biomass Energy Data Book* 4th ed. Amerika Serikat: U.S. Department of Energy.
- BP Statistical Review of World Energy. 2014. *Review of World Energy*. <http://www.bp.com/statisticalreview>, diakses pada 20 Februari 2015.
- Contained Energy Indonesia. 2011. *Buku Panduan Energi yang Terbaru*. Jakarta: Kementerian Dalam Negeri.
- Dynamotive. 2006. *The Bio-oil Information Book*. DynaMotive Energy Systems Corporation. Angus Corporate Cente. 1700 West 75th Avenue. Suite 230. Vancouver BC. Kanada.
- Elliot, C.D. 2007. *Historical Development in Hydroprocessing Bio-Oils*, Energy and Fuels, 21, p.1792-1815.
- Gerad, D.A.L. 2007. *Ciri Ciri Fisik Pinus Merkusii Banyak Menghasilkan Getah dan Pengaruh Stimulasi serta Kelas Umur Terhadap Produksi Getah Pinus*. Skripsi. Bogor: Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Ginting, A. Br., Dian, A., Sutri, I. dan Rosika, K. 2007. *Karakterisasi Komposisi Kimia. Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal dari Zeolit Bayah*. Tasikmalaya. dan Lampung. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. BATAN. Serpong.
- Lestari, D.Y. 2010. *Kajian Modifikasi dan Karakterisaisi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mandala, S.P. 2011. *Referensi Ilmiah Indonesia*. Biomassa Sumber Energi Masa Depan Indonesia. Palembang.
- Misdian, M., 2009, *Pembuatan CoMo/ZSM-5 dari Abu Sawit sebagai Katalis Pada Pengolahan Biomassa Menjadi Bahan Bakar Cair*, Jurnal Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Riau.
- Mohan, D., C.U. Pittman, dan P.H. Steel. 2006. *Pirolisis of Wood/Biomass for Bio-Oil : A Critical Review*, Energy and Fuels, 20, 848-889.
- Mustain, 1997. *Konversi Zeolit Alam Menjadi ZSM-5*, Tesis Magister,

- Program Studi Teknik Kimia
Program Pascasarjana Institut
Teknologi Bandung.
- Setiadi dan A. Pertiwi. 2007. *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam untuk Konversi Senyawa ABE menjadi Hidrokarbon*. Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS.
- Setyawan, D., dan Handoko, P., 2003. *Aktivitas Katalis Cr/Zeorit dalam Reaksi Konversi Katalitik Fenol dan Metil Isobutil Keton*, Jurnal Ilmu Dasar. Vol. 4 no.2 hal :73-76.
- Smallwood, 2008. *Hydroprocessing of Pyrolysis Bio-oil to Fuel and Chemical*. Pacific Northwest National Laboratory U.S. Departement of Energy.
- Trisunaryanti, W., E. Witano, dan Triyono. 2010. *Preparasi dan Karakterisasi Katalis Ni-Mo/Zeorit Alam Aktif*, Seminar Nasional VI, Yogyakarta.
- Vang, R. T., Honkala, K., Dahl, S., Vestegaard, K. E., dan Schnadt, J. 2005. *Controlling the Catalytic Bond-Breaking Selectivity of Ni Surface by Step Blocking*. Nature Material. Vol:4, p. 160-162.